



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Mejoramiento de la calidad de suelos contaminados con Fracción de hidrocarburos F2 a partir de la fitorremediación empleando la *Typha latifolia* (Totorá) y biocarbón”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Darwin Werner Cornejo Ecurra

ASESOR:

Mg. Ing. Lorgio Valdiviezo Gonzáles

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA-PERÚ

Año 2016 - II

Página del jurado

Mg. Rubén Munive Cerrón
Presidente

Rita Cabello Torres
Secretario

Lorgio Valdiviezo Gonzáles
Vocal

Dedicatoria

A mi familia por la confianza depositada
y a todos los que siguen motivándome
en el desarrollo de mi progreso.

Agradecimiento

Agradezco a mis padres y hermanos por el apoyo económico, a Janina Marquina por el apoyo moral e intelectual para concluir con el desarrollo de tesis. A la Universidad César Vallejo por los conocimientos brindados a través de los docentes durante toda la etapa académica, en especial al Mg. Lorgio Valdiviezo Gonzáles por las críticas constructivas, sugerencias y seguimiento del desarrollo de la tesis.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo **Darwin Werner Cornejo Escurra** con DNI N° 47832345, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de **Ingeniería**, Escuela de **Ingeniería Ambiental**, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 01 de **Diciembre** de **2016**

Darwin Werner Cornejo Escurra

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “**Mejoramiento de la calidad de suelos contaminados con Fracción de hidrocarburos F2 a partir de la fitorremediación empleando la *Typha latifolia* (Totorá) y biocarbón**”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Darwin Werner Cornejo Escurra

ÍNDICE

Página del jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	1
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	2
PRESENTACIÓN	3
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad Problemática	17
1.2. Trabajos previos	18
1.3. Teorías relacionadas al tema	24
1.3.1. Propiedades del suelo	24
1.3.2. Hidrocarburos	38
1.3.3. Fitorremediación	40
1.3.4. Biorremediación	44
1.3.5. Nutrientes en el suelo	48
1.3.6. Biocarbón	50
1.3.7. Marco legal	56
1.4. Formulación del problema	56
1.4.1. Problema general	56
1.4.2. Problemas específicos	56
1.5. Justificación del Estudio	57
1.6. Hipótesis	57
1.6.1. Hipótesis General	57
1.6.2. Hipótesis Específicas	57
1.7. Objetivos	58
1.7.1. Objetivo General	58
1.7.2. Objetivos Específicos	58
II. MÉTODO	59
2.1. Diseño de investigación	60

2.2.	Variables y definición operacional-----	61
2.3.	Unidades de análisis, población, muestra y diseño muestral-----	62
2.3.1.	Unidad de análisis-----	62
2.3.2.	Población-----	62
2.3.3.	Muestra-----	62
2.3.4.	Diseño muestral-----	62
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos-----	63
2.5.	Validez y confiabilidad-----	72
2.6.	Métodos de análisis de datos-----	72
2.7.	Aspectos éticos-----	72
III.	RESULTADOS-----	73
	ANÁLISIS ESTADÍSTICO-----	74
	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS-----	77
IV.	DISCUSIÓN-----	108
V.	CONCLUSIONES-----	119
VI.	RECOMENDACIONES-----	121
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	123
ANEXOS-----		136
Anexo 1-----		136
Instrumentos-----		136
Anexo 2: Aspectos Administrativos-----		140
Financiamiento:-----		141
Cronograma de ejecución:-----		141
Anexo 3-----		142
Resultado del Análisis de Caracterización del suelo agrícola sin contaminar-----		142
Resultado del Análisis de Caracterización del suelo contaminado al final del tratamiento-----		143
Resultado del Análisis de Cromatografía de Gases del suelo inicial contaminado con diésel para la proyección según dosis-----		149
Resultado del Análisis de Cromatografía de Gases del suelo inicial contaminado-----		150
Resultado del Análisis de Cromatografía de Gases al final del tratamiento-----		152
Anexo 4-----		153
Coordenadas de puntos para el muestreo de suelo-----		153
Anexo 5-----		154

Crecimiento semanal de la <i>Typha latifolia</i> -----	154
Anexo 6-----	155
Recibo Digital -----	155
Informe de Originalidad -----	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Triángulo textural del suelo	26
Figura 2: Relación entre tipo de partículas y propiedades	27
Figura 3: Esquema idealizado del estado del agua en suelo con textura gruesa	31
Figura 4: Influencia del pH sobre la retención de cationes y la fertilidad.....	35
Figura 5: Influencia del pH en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y para la actividad de los microorganismos	36
Figura 6: Ciclo simplificado del carbono en la vegetación y el suelo.....	54
Figura 7: Ciclo de carbono con influencia de Biocarbón	55
Figura 8: Esquema de distribución de puntos de muestreo	63

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: <i>Typha latifolia</i>	43
Imagen 2: Trozo de biocarbón y su vista microscópica	51
Imagen 3: Determinación de puntos para la toma de muestras	66
Imagen 4: Toma de muestra de suelo de uno de los puntos determinados	66
Imagen 5: Maceta rectangular de 27 L	67
Imagen 6: Vertimiento de 50 mL de diésel en 450 g de suelo	67
Imagen 7: Contaminación de muestra con diésel.....	69
Imagen 8: Maceta rectangular con biocarbón.....	69
Imagen 9: Pesaje de cada <i>Typha latifolia</i>	70
Imagen 10: Colocación de <i>Typha latifolia</i> en macetas	70
Imagen 11: Medición de temperatura del suelo en cada maceta	70
Imagen 12: Medición del pH del agua filtrada en cada base de la maceta.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Sistema americano y Sistema internacional	28
Cuadro 2: Distribución de Cationes según porcentaje	32
Cuadro 3: Relaciones Catiónicas	32
Cuadro 4: Interpretación de nutrientes desde el enfoque químico	32
Cuadro 5: Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo-agua de 1:1.....	33
Cuadro 6: Rangos de las clases de pH.....	35
Cuadro 7: Interpretación de la fracción orgánica desde el enfoque químico	37
Cuadro 8: Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo de la tabla Munsell.....	37
Cuadro 9: Rangos del número de carbono y su punto de ebullición	40
Cuadro 10: Características de materias prima para fabricar carbón activado	52
Cuadro 11: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.....	56
Cuadro 12: Resumen de las técnicas e instrumentos	64
Cuadro 13: Resumen de lo descrito	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de ubicación de los 6 puntos establecidos para un área de 0.5 Ha, según la Guía para muestreo de suelos Decreto Supremo N° 002-2013, ECA para Suelo (MINAM, 2014)	65
Tabla 2: Volumen de diésel requerido por cantidad de suelo a partir de la concentración deseada	68
Tabla 3: Concentración esperada y concentración real de F2.....	68
Tabla 4: Resultados de la Concentración de Fracción de hidrocarburos F2 antes y después del tratamiento	77
Tabla 5: Eficiencia del tratamiento de Remediación del suelo contaminado con Fracción de hidrocarburos F2.....	78
Tabla 6: Resultados de Caracterización del suelo.....	80
Tabla 7: Resultados de cationes cambiabiles presentes en el suelo.....	81
Tabla 8: Medición de pH del suelo en cada maceta	88
Tabla 9: Medición de temperatura del suelo.....	90
Tabla 10: Contenido de agua en el suelo	93
Tabla 11: Crecimiento de la <i>Typha latifolia</i> en macetas	101
Tabla 12: Pesaje de la <i>Typha latifolia</i> en macetas.....	104

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Reducción de la concentración de Fracción de hidrocarburos F2	77
Gráfica 2: Eficiencia del tratamiento de Remediación del suelo contaminado con Fracción de hidrocarburos F2.....	79
Gráfica 3: Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo antes y después del tratamiento.....	80
Gráfica 4: Cationes cambiables presentes en el suelo antes y después del tratamiento	81
Gráfica 5: Comportamiento del CIC y sus cationes cambiables.....	82
Gráfica 6: Contenido de Potasio (K ⁺) antes y después del tratamiento	83
Gráfica 7: Contenido de Fósforo (P) antes y después del tratamiento	84
Gráfica 8: Materia Orgánica (M.O.) antes y después del tratamiento.....	85
Gráfica 9: Conductividad Eléctrica (C.E.) del suelo antes y después del tratamiento	86
Gráfica 10: pH del suelo antes y al final del tratamiento	87
Gráfica 11: Textura del suelo	88
Gráfica 12: pH del agua filtrada durante el tratamiento	89
Gráfica 13: Comportamiento del pH promedio en el tiempo.....	89
Gráfica 14: Temperatura del suelo durante el tratamiento	91
Gráfica 15: Comportamiento de la temperatura promedio en el tiempo	91
Gráfica 16: Humedad del suelo	94
Gráfica 17: Comportamiento de la humedad promedio del suelo en el tiempo ...	94
Gráfica 18: Densidad Aparente del suelo	95
Gráfica 19: Comportamiento del promedio de la densidad del suelo	96
Gráfica 20: Porosidad del suelo	97
Gráfica 21: Comportamiento del promedio de porosidad del suelo en el tiempo	97
Gráfica 22: Espacio de poros ocupados por agua.....	98
Gráfica 23: Comportamiento del espacio de poros del suelo ocupados por agua	99
Gráfica 24: Comparación de la variación promedio de agua y la temperatura ..	100
Gráfica 25: Crecimiento de la <i>Typha latifolia</i> durante el tratamiento	102
Gráfica 26: Crecimiento de la <i>Typha latifolia</i> en el tiempo	102

Gráfica 27: Comportamiento del peso de la <i>Typha latifolia</i> antes y después del tratamiento	105
Gráfica 28: Comportamiento del aumento de peso promedio de la <i>Typha latifolia</i> en el tiempo.....	105
Gráfica 29: Comportamiento del peso y crecimiento promedio de la <i>Typha latifolia</i> en el suelo contaminado con la Fracción de hidrocarburos F2	107

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la eficiencia de remoción de un suelo contaminado con Fracción de hidrocarburos F2 empleando el tratamiento de fitorremediación con la técnica de fitoestimulación. Las condiciones naturales del medio se mantuvieron sin modificar. El tratamiento se realizó en 04 macetas rectangulares de 10 kg, en cada una de ellas se colocó 5 plantas de *Typha latifolia* con 250 g de biocarbón. La remoción de Fracción de hidrocarburos F2 cuantificada por análisis de cromatografía de gases en peso seco, demostró que las concentraciones de 4 513, 19 115 y 48 510 mg/kg de suelo contaminado se redujeron a 319, 5 594 y 24 209 mg/kg, respectivamente, obteniendo eficiencias de remoción de 92.93, 70.74 y 50.09%, respectivamente en un periodo de 30 días. Asimismo, el crecimiento de la *Typha latifolia* fue mayor en concentraciones altas de diésel, el mayor crecimiento y pesaje ocurrió a 48 510 mg/kg de suelo contaminado y la menor se registró en el suelo control no contaminado. El suelo con concentración de 4 513 mg/kg de F2 sometido a remediación alcanzó el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola establecido en la normatividad peruana vigente (D.S. N°002-2013-MINAM). Durante el tratamiento se midió algunas variables de control como CIC, nutrientes, M.O. C.E., pH, textura, temperatura, humedad, densidad, porosidad y espacio de poros ocupados por agua, donde la CIC se mantuvo en un rango de 15.52 y 16 meq/100 mg con sus respectivos cationes cambiables de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} con promedio de 48, 23, 19 y 9.8%, respectivamente, los nutrientes de potasio (K) y fósforo (P) en 1839 y 156 ppm, respectivamente, la M.O. en 6%, la C.E. en 4 dS/m, el pH en 8, textura arenosa, 23°C de temperatura, 47% de humedad, densidad aparente de 1.15 g/mL, porosidad de 57% y 83% de espacio de poros ocupados por agua; facilitando la biodegradación del contaminante.

Palabras clave: Fitorremediación, *Typha latifolia*, biocarbón, Fracción de hidrocarburos F2.

ABSTRACT

The present research aims to determine the efficiency of the removal of a soil contaminated with the F2 hydrocarbon fraction using fission treatment with the phytostimulation technique. The natural conditions of the medium remained unchanged. The treatment was carried out in 4 rectangular pots of 10 kilograms, in each one of them was placed 5 plants of *Typha latifolia* with 250 g of biocarbon. Removal of F2 hydrocarbon fraction quantified by dry gas chromatography analysis showed that the concentrations of 4 513, 19 115 y 48 510 mg/kg of contaminated soil were reduced to 319, 5 5594 and 24 209 mg/kg, respectively, obtaining removal efficiencies of 92.93, 70.74 and 50.09%, respectively over a period of 30 days. Likewise, the growth of *Typha latifolia* was higher in high concentrations of diesel, the highest growth and weighing occurred at 48 510 mg/kg of contaminated soil and lower was recorded in uncontaminated control soil. The soil with a concentration of 4 513 mg/kg of F2 undergoing remediation reached the Environmental Quality Standard (ECA) for agricultural land established in Peruvian regulations in force (D.S. No. 002-2013-MINAM). During the treatment we measured some control variables such as CIC, nutrients, M.O. EC, pH, texture, temperature, humidity, density, porosity and water occupied pore space, where the ICC was maintained in a range of 15.52 and 16 meq/100 mg with their respective changeable Ca^{+2} , Mg (K) and phosphorus (P) nutrients in 1839 and 156 ppm, respectively, the MO in 6%, K^{+} , Na^{+} with an average of 48, 23, 19 and 9.8%, respectively, EC at 4 dS/m, pH at 8, sandy texture, 23 °C temperature, 47% humidity, apparent density of 1.15 g/mL, 57% porosity and 83% water occupied pore space ; Facilitating the biodegradation of the pollutant.

Key words: Phytoremediation, *Typha latifolia*, biocarbon, F2 hydrocarbon fraction.